

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350696

研究課題名(和文) 暑熱下での運動後の低血圧と脳の血流や機能の変化に及ぼすガム咀嚼と弾性タイツの影響

研究課題名(英文) The effect of chewing and tight on blood pressure and brain oxygenation after exercise in heat

研究代表者

曽根 涼子 (Sone, Ryoko)

山口大学・教育学部・教授

研究者番号：50271078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：健康な若年者において、中等度の持久性運動後に高温(32℃)下で過ごした場合には、運動自体の影響に加えて皮膚血管拡張による末梢血管抵抗低下作用等が働いて、中性温下で過ごした場合に比べて、血圧の低下、いわゆる運動後低血圧現象がより顕著に認められることがあるが、脳(前頭前野領域)の酸素化動態は環境温度によって変化しないことが示唆された。また、運動後の心的状態や暗算能力は、環境温度、ガム咀嚼や弾性タイツ着用によって影響されないことが示された。ただし、運動後の血圧低下度がより大きい場合については、さらに検討する必要があると考えられた。

研究成果の概要(英文)：In healthy young men, it was suggested that the acute fall in arterial pressure until about 2 hr after moderate endurance exercise is more prominent under high ambient temperature (32℃) than under thermo-neutral temperature (26℃) due to the effect of decreased peripheral vascular resistance caused by thermoregulatory cutaneous vasodilation. And, it was suggested that the cerebral tissue oxygenation at prefrontal area is not changed by ambient temperature. It was indicated that one's mood state and mental arithmetic performance after the exercise are not affected by the ambient temperature, gum chewing, and elastic tights wearing. However, it is necessary to study further in case of the bigger arterial pressure fall than that in the present study (fall in mean arterial pressure: 5-6 mmHg).

研究分野：運動生理学

キーワード：運動後低血圧 心的状態 暗算成績 近赤外分光法

1. 研究開始当初の背景

夏季には、学齢期の子どもは、厳しい暑熱下で体育や部活動を行った後、引き続き学習したり、各種作業を行ったりしなければならない場合が多い。1回の運動によって、血圧は、運動前に比べて運動後に低下する場合がある〔運動後低血圧 (PEH)〕が、この現象は暑熱 (高温) 下ではより顕著になることが示されている。また、脳血流量の減少を伴うような安静時血圧の低下は、倦怠感、眠気や集中力の低下を生じさせることが知られている。したがって、学齢期の子どもが夏季に経験するような運動後の状況では、血圧が低下し、それと関係して集中力、ひいては学習能力の低下が起こる可能性があると考えられる。しかしながら、健常者において、運動後に高温下で過ごした場合の長時間にわたる血圧応答、PEH 現象と脳血流 (脳酸素化) 動態、心的状態や学習能力との関係、加えて PEH 現象の弊害 (集中力等の低下) を防ぐ方法の検討は十分でなかったり、行われていなかったりするため、それらについて検討する必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、運動後の血圧応答とその調節機序、および脳酸素化動態に及ぼす高温環境の影響について検討することを目的とした (研究 1)。また、高温環境における運動後の血圧応答と心的状態および暗算パフォーマンスとの関係、およびガム咀嚼 (研究 2) や弾性ストッキング着用の影響について検討することを目的とした (研究 3 および 4)。

3. 研究の方法

(1) 研究 1

被検者：非喫煙で正常血圧の健康な男子学生 10 名を被検者とした。被検者にはまず研究目的、方法、潜在的な危険等について十分に情報を提供し、それらを被検者が理解したことを確かめてから自発的な同意を得た。

手順：自転車エルゴメータを用いて、まず、多段階漸増負荷法によって最大下運動負荷検査を行い、その結果得られた運動強度と心拍数の関係に基づいて心拍予備の 60% の強度を求めた。次に、日を変えて、運動後に中性温下で過ごす ExNeut 実験、運動後に高温下で過ごす ExHot 実験、およびそれぞれの対照実験として、運動を行わないで各温度条件下で安静を保ち続ける ReNeut 実験と ReHot 実験の 4 つを行った。各実験では、まず被検者に半仰臥位で十分に安静を保たせ、血圧等のベースライン測定 (pre 測定、10 分間) を行った後に、運動を行う場合には水 (250 ml) を摂取させた。その後、60% 心拍予備の強度で自転車運動を 40 分間行わせる (Ex 実験) か、あるいは椅坐位で安静にして過ごさせた (Re 実験) 後、再度半仰臥位で安静を保たせ、20 (post1)、50 (post2) および 80 分 (post3) 後の各時点に pre と同様の血圧等の測定を行

った。測定時間は、研究 2 との関係で 6 名については post3 において 5 分間としたが、それ以外は 10 分間であった。実験時の環境温度は、中性温 (Neut) 条件では常に 26 とし、高温 (Hot) 条件では運動あるいは安静終了までは 26、それ以後は 32 とした。実験の順番はランダムとし、Ex および Re 実験後には基本的にそれぞれ 1 週間および 3 日間空けて、次の実験を行った。全実験は午後 1~6 時の間に行った。4 名の被検者については低温 (21) 条件の場合についても実験を行った。

測定および解析：主な測定項目は、血圧、体温、心拍出量、皮膚血流量、および前頭前野領域における血中ヘモグロビン濃度であった。血圧は自動血圧計 (オシロメトリック法) を用いて上腕で測定した。体温は直腸温度と皮膚温 (4ヶ所) を熱電対温度計で測定した。心拍出量は生体インピーダンス法あるいは Finometer MIDI (Finapres Medical System 社) によって測定した。皮膚血流量は、レーザー Doppler 血流計を用いて胸部で測定した。前頭前野領域の血中ヘモグロビン濃度 [酸素化ヘモグロビン (O_2Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (HHb) および総ヘモグロビン (cHb) 濃度] は、近赤外分光法 (NIRS) によって測定した (浜松ホトニクス社、NIRX-120)。いずれのパラメータについても連続的に測定し、各測定時点の結果は平均した。また、平均血圧 (拡張期血圧 + 1/3 脈圧) を心拍出量で除して総末梢血管抵抗を求め、皮膚血流量を平均血圧で除して皮膚血管調節指標である皮膚血管コンダクタンスを求めた。

(2) 研究 2

被検者：ガム咀嚼の影響を検討するため、研究 1 の実験の最後にガムを咀嚼する場合としない場合を設定した。そのため、被検者は研究 1 と同様であった。

手順：研究 1 の post3 の時点で、被検者 4 名については安静を 10 分間保った後、引き続き暗算テスト (実施方法は研究 3 の測定および解析に詳述) を 10 分間行った。他 6 名については、安静を 5 分間保った後、5 分間はガムを咀嚼、さらにその後 10 分間はガム咀嚼をしながら暗算テストを実施した。ガムは、市販のものを用いた。

測定および解析：測定項目は研究 1 で挙げたものと、暗算テスト後の心的状態と集中力および眠気であった。心的状態は、Profile of Mood States (POMS) テストを用いて測定した。結果は、緊張、活動性、疲労、怒り、抑鬱、および情緒混乱の因子別に集計した。集中力および眠気は、Visual Analogue Scale (VAS) を用いて測定した。

(3) 研究 3

被検者：非喫煙で正常血圧の健康な男子学生 7 名を被検者とした。被検者には研究 1 と同様にして同意を得た。

手順：基本的には研究1と同様にして、自転車エルゴメータを用いて、まず最大下運動負荷検査を行い、60%心拍予備の強度を求めた。次に、日を変えて、運動後に中性温下で過ごす ExNeut 実験、運動後に高温下で過ごす ExHot 実験、運動後に弾性タイツ(REGUARD 社、CG TIGHTS 27)を履いて高温下で過ごす ExHot-T 実験、および運動を行わないで中性温下で安静を保ち続ける ReNeut 実験の4つを行った。各実験では、まず被検者に半仰臥位で十分に安静を保たせ、血圧、心的状態、暗算パフォーマンス等のベースライン測定(pre 測定)を行った後に、運動を行う場合には水(250 ml)を摂取させた。その後、60%心拍予備の強度で自転車運動を40分間行わせる(Ex 実験)か、あるいは椅座位で安静にして過ごさせた(Re 実験)後、再度半仰臥位で安静を保たせ、20(post1)、60(post2)、100(post3)および140分(post4)後の各時点から pre と同様の測定を行った(ただし、140分からの測定では暗算パフォーマンスの測定は行わなかった)。実験時の環境温度は研究1と同様にした。実験の順番、間隔および時間帯は研究1と同様であった。

測定および解析：主な測定項目は、血圧、心的状態、暗算パフォーマンス、集中力、および眠気であった。各パラメータの測定および解析の方法は、基本的には研究1および2と同様であった。暗算テスト(pre では5分間、post では25分間)については4桁と2桁の減算を以下の方法で行った。まず4桁と2桁の数値をコンピュータのディスプレイ上に順番に示し、次にその減算結果を速やかにキーボードから入力させることを繰り返した(Microsoft Excel を使用)。実験後に、このテストの回答数、正答数および正答率を求めた。心的状態の測定は、暗算前の安静時に POMS テストを用いて行った。集中力と眠気は暗算テスト後に VAS を用いて測定した。

(4) 研究4

被検者：非喫煙で正常血圧の健康な男子学生9名を被検者とした。被検者には研究1と同様にして同意を得た。

手順：トレッドミルを用いて、まず、多段階漸増負荷法によって最大負荷検査を行い最大酸素摂取量を測定し、その結果得られた速度と酸素摂取量の関係を用いて最大酸素摂取量の65%の強度(速度)を求めた。次に、運動実験(Ex 実験)と対照実験(Re 実験)を行った。各実験では、まず被検者に半仰臥位で十分に安静を保たせ、血圧等のベースライン測定(pre 測定)を行った後に、運動を行う場合には水(250 ml)を摂取させた。その後、最大酸素摂取量の65%強度での35分間の走運動(ウォームアップとクールダウンと合わせて40分間)を行わせるか、あるいはその対照として椅座位で安静にして過ごさせた後、再度半仰臥位で安静を保たせ、25(post1)、65(post2)および105分(post3)

後の各時点から pre と同様の血圧等の測定を行った。実験時の環境温度は常に26とした。実験の順番はランダムとし、Ex および Re 実験後には基本的にそれぞれ1週間および3日間空けて、次の実験を行った。全実験は午後1~6時の間に行った。Pre、post1 と post2 では暗算テストを行った。また、Post3 では半仰臥位から仰臥位(n=6)あるいは正座(n=3)に姿勢を変えてその姿勢を10分間保持した。

測定および解析：主な測定項目は、血圧、心的状態(POMS による)、眠気と集中力(VAS による)、および暗算パフォーマンスであり、基本的に研究3と同様に測定および解析を行った。暗算テストは4桁から2桁の減算を Pre では10分間、Post1 および2 では20分間行った。

4 . 研究成果

(1) 研究1

運動後には、中性温と高温のいずれの温度条件下で過ごした場合にも、中性温下で安静を保ち続けた場合と比べて収縮期血圧(SBP)は低下したが、その変化は1時間後以降において高温条件の方がより顕著であった[1.5時間後(post3)には約10mmHg 低下]。拡張期血圧(DBP)は、中性温下で安静を保ち続けた場合には1.5時間後にベースライン値に比べて有意に上昇し($p < 0.05$)、姿勢の保持が交感神経性に末梢血管抵抗を上昇すること等の影響が考えられたが、他の実験条件ではそのような変化は認められなかった。これらのことから、SBP と DBP では変化パターンは異なるが、いずれに対しても運動は低下するように働き、高温環境で過ごすことはそれらの低下傾向をより顕著にすることが示唆された。

末梢血管抵抗の応答を見ると、運動後には低下し、特に高温下で過ごした条件で顕著な低下が継続して認められた。心拍出量には全実験条件において実験を通して有意な変化は認められなかった。

皮膚血管コンダクタンスは、中性温下で安静を保ち続けた場合と比べて、運動後に中性温下で過ごした場合には明らかな差はなかったが、運動後に高温下で過ごした場合には1.5時間後まで有意に上昇し($p < 0.05$)、顕著な皮膚血管拡張が生じたことが認められた。

O_2Hb と cHb は、運動後すぐの測定ではベースライン値よりも両温度条件の場合に有意に上昇した($p < 0.05$)が、その後は高温環境で過ごした場合にのみ運動後を通して、中性温下で安静を保った場合に比べて有意な上昇を示した($p < 0.05$)。HHb の応答には実験条件間に差はなかった。

以上のことから、健康な若年男性において、中程度の強度での全身持久性運動後の血圧調節は環境温度の影響を受けて変化し、高温下では、皮膚血管拡張による末梢血管抵抗の

低下の影響によって、血圧はより顕著に低下する傾向があることが示唆された。これは、環境温度が PEH 現象に及ぼす影響を調べた先行研究 (Franklin ら、1993) の仮説を支持する。本研究の結果は、低温条件の場合を加えてみても、血圧応答には明らかな環境温度依存性が認められた。また、いずれの環境温度においても、運動後の脳 (前頭前野) 酸素化動態に、脳血流量の減少を示唆するような変化は認められなかった。

(2) 研究2

運動後に血圧が明らかに低下している時点でガムを咀嚼することによって血圧は有意に上昇した ($p < 0.05$) が、NIRS パラメータには変化は認められなかった。また、心的状態や暗算パフォーマンス (回答数、正答数および正答率) にもガム咀嚼の明らかな影響は認められなかった。したがって、運動後のガム咀嚼によって、血圧は明らかに上昇するが、暗算時の前頭前野領域の酸素化動態、心的状態や暗算パフォーマンスが明らかに変化するようなことはないのではないかと考えられた。

(3) 研究3

SBP、DBP の応答にはいずれにも実験条件間に有意差は認められなかったが、DBP の暗算に対する応答 (基本的に上昇) は、約 0.5 時間後 (Post1) において中性温下で安静を保ち続けた場合と比べてその他の条件で小さくなる傾向が認められた ($p = 0.057$)。

心的状態、集中力および眠気の応答にはいずれにも実験条件間に明らかな差は認められなかった。疲労感はベースラインから約 1 時間後までは時間経過に伴って強まり、その後、一定になる傾向があった。集中力と眠気は逆の変化パターンを示し、それぞれ 0.5 時間後に低下および上昇し、その後回復する傾向を示した。

暗算パフォーマンスは、実験条件間に有意な差は認められず、全体的に 0.5 時間後に低下し、その後時間経過に伴って上昇する傾向が認められた。

暗算時の DBP と正答数、正答率および集中力、および集中力と正答数および正答率のそれぞれについて有意な正の相関が認められた ($p < 0.05$)。また、暗算時の DBP と眠気、緊張と解答数および正答数、および眠気と正答率のそれぞれについて有意な負の相関が認められた ($p < 0.05$)。

以上のことから、健康な若年男性において、中程度の強度での全身持久性運動後に高温環境で過ごすこと、およびその状況で弾性タイツを着用することによって、安静時の血圧は影響されないことが示された。したがって、高温環境の影響について、この研究 (研究3) の結果は研究1の結果と異なったが、その原因には、自転車運動の仕方が異なり (研究3

ではより全身を使用するようにハンドルを持たずに自転車運動を行わせた) 脚への相対的な負荷が研究3の方が軽かったこと等が影響した可能性があると考えられた。暗算に対する血圧応答に関して、運動後に減衰傾向があることは先行研究 (Brownly ら、2003) においても示されている。また、血圧、心的状態および暗算パフォーマンスの間には関係があることが示唆された。ただし、この研究では、運動後の低血圧化が顕著でなかったため、運動様式を変更し、より全身性の運動である走運動を行った場合にも上記のような関係が認められるかどうかについて研究4で検討することにした。

(4) 研究4

血圧応答について、SBP は運動を行わずに安静を保ち続けた場合に比べて運動後の方が 1~1.5 時間後 (post2) において有意に低かった ($p < 0.05$ 、10 mmHg 前後)。DBP は有意に変化しなかった。

心的状態について、疲労感にのみ実験条件によって異なる傾向が認められ、両条件で Pre に比べて Post の方が強まったが、その傾向は運動条件の方が顕著であった。集中力や眠気には明らかな変化は認められなかった。

暗算パフォーマンスの結果について、回答数および正答数は Pre に比べて Post で有意に上昇した ($p < 0.05$) が実験条件間に有意差は認められなかった。

安静時の DBP と疲労、安静時および暗算時の DBP と回答数および正答数のそれぞれ間に有意な正の相関が認められた ($p < 0.05$)。また、安静時および暗算時の SBP と疲労、眠気と正答率のそれぞれ間に有意な負の相関が認められた ($p < 0.05$)。

体位変換時の血圧および心的状態の応答について、仰臥位への体位変換では両条件において、有意な変化は認められなかった。正座への体位変換では、SBP、DBP とともに半仰臥位に比べて正座時に有意に上昇した ($p < 0.05$)。心的状態には、有意な変化は認められなかった。

以上のことから、健康な若年男性において、中程度の強度での全身持久性運動後の安静時や暗算時の血圧 (SBP) が低下した場合、同時に疲労感の増強が認められる傾向があるが、暗算パフォーマンスは変化しないことが示された。また、研究3および4のいずれにおいても、暗算時の血圧 (DBP) と暗算パフォーマンスとの間に有意な負の相関が認められたことは、機序については不明であるが、運動後の特には DBP と学習・作業成績との間に関係がある可能性を示唆しており、興味深い。

研究 (1) ~ (4) の成果をまとめると、健康な若年男性において、中程度の強度での全身持久性運動後 (2 時間前後) に高温 (32 °C) 下で過ごす場合には、運動自体の影響に加えて皮膚血管拡張による末梢血管抵抗低下作

用等働いて、中性温下で過ごす場合に比べて低血圧化がより顕著に生じることがある（SBPで10 mmHg程度）が、脳（前頭前野領域）の酸素化動態は変化しないことが示唆された。また、運動後の心的状態や暗算パフォーマンスは、環境温度（中性温および高温）、ガム咀嚼や弾性タイツ着用によって影響されないことが示された。ただし、血圧、心的状態および暗算パフォーマンスの間には有意な相関が認められた。また、本研究ではSBPは最も低下した場合でも100 mmHg以上であったが、先行研究（DuschekとSchandry, 2004）によると、いわゆる低血圧の場合には認知能力の低下を生じることが報告されている。したがって、運動後の血圧低下がより顕著に生じた場合には、血圧、心的状態および暗算パフォーマンスの対応関係が経時変化においても確認される可能性はあり、そのような場合については今後検討する必要があると考えられた。

本研究は、高温環境における運動後の血圧応答および脳の血流や機能（脳の酸素下動態、心的状態、および暗算パフォーマンスから）、およびそれらに対するガム咀嚼や弾性タイツ着用の影響を明らかにしようとした。このような研究は、現時点では見当たらず、実際的には、例えば学齢期の子どもの運動後の状況を生理学的に把握して、学習能力に影響が及ばないような運動後の過ごし方を提案できる可能性もあるため、今後もさらに進める必要があると考えられる。

<引用文献>

Brownly KA, Hinderliter AL, West SG, Girdler SS, Sherwood A, Light KC. Sympathoadrenergic mechanisms in reduced hemodynamic stress responses after exercise. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 35(6), 2003, 978-986
Duschek S, Schandry R. Cognitive performance and cerebral blood flow in essential hypotension. *Psychophysiology*, 41, 2004, 905-913
Franklin PJ, Green DJ, Cable NT. The influence of thermoregulatory mechanisms on post-exercise hypotension in humans. *Journal of Physiology*, 470, 1993, 231-241

5. 主な発表論文等（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 1件)

①打越紗希菜、丹 信介、塩田正俊、山崎文夫、曾根涼子 (2015): 高温環境における長時間運動がその後24時間の血圧調節に及ぼす影響、山口県体育学研究、57、1-12。(査読有り)

〔学会発表〕(計 3件)

①曾根涼子、水口拓哉、松本健太郎、山崎文夫、塩田正俊、丹 信介 (2016): 運動後低血圧現象と心的状態および暗算パフォーマンスとの関係、第71回日本体力医学会大会、2016.9.23、盛岡市民文化ホール（岩手県・盛岡市）

②曾根涼子、中田誠一郎、松本祥汰、山崎文夫、塩田正俊、丹 信介 (2015): 持久性運動後の血圧調節に及ぼす環境温度の影響、第70回日本体力医学会大会、2015.9.20、和歌山県民文化会館（和歌山県・和歌山市）

③稲垣圭祐、西田真士、吉木和希、曾根涼子 (2014): 下り坂走後の運動後低血圧現象と睡眠の質に関する検討、山口県体育学会第59回大会、2014.12.6、山口大学（山口県・山口市）

〔図書〕(計 0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

曾根 涼子 (SONE RYOKO)
山口大学・教育学部・教授
研究者番号：50271078

(2) 連携研究者

丹 信介 (TAN NOBUSUKE)
山口大学・教育学部・教授
研究者番号：00179920

山崎 文夫 (YAMAZAKI FUMIO)
山口県立大学・看護学科・准教授
研究者番号：80269050